

zu P 611 078



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 09 899 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:
F 01 D 9/02
F 01 D 5/14
F 01 D 7/00
F 01 D 5/28

⑳ Aktenzeichen: 199 09 899.9
㉔ Anmeldetag: 6. 3. 1999
㉔ Offenlegungstag: 7. 9. 2000

D3

DE 199 09 899 A 1

㉑ Anmelder:
ABB Research Ltd., Zürich, CH

㉒ Vertreter:
Lück, G., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 79761
Waldshut-Tiengen

㉓ Erfinder:
Ahrens, Markus, Dr., Baden-Rütihof, CH; Mallick,
Vishal, Dr., Birmenstorf, CH; Wilson, Perry Falknor,
Dr., Boulder, Col., US

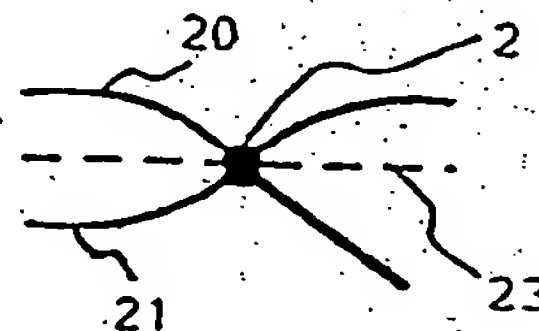
⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE-PS 9 61 742
DE 196 47 102 A1
DE 43 08 892 A1
DE-OS 21 12 261

JP 55-78104 A., In: Patents Abstracts of Japan,
M-28, Aug. 26, 1980, Vol. 4, No. 120;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

- ⑤④ Schaufeln mit veränderbarer Profilgeometrie
⑤⑦ Die Erfindung bezieht sich auf eine Schaufel 2 mit ver-
änderbarer Profilgeometrie zum Einsatz in einer Strö-
mungsmaschine. Die Veränderung der Profilgeometrie
erfolgt durch elastische Verformung der Schaufel mittels
Aktuatoren, die in die Schaufel integriert sind. Die Schau-
fel wird insbesondere in einem Fan oder einem Verdichter
einer Strömungsmaschine eingesetzt.



DE 199 09 899 A 1

Beschreibung

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft Schaufeln, deren Profilgeometrie veränderbar ist. Die Schaufeln kommen vorzugsweise in einer Strömungsmaschine, insbesondere in einem Industrieventilator, zum Einsatz.

Stand der Technik

Strömungsmaschinen werden in der Regel über einen großen Betriebsbereich von Leerlauf bis Vollaast betrieben. In den unterschiedlichen Betriebsbereichen stellen sich jeweils auch extrem unterschiedliche Betriebszustände ein. Insbesondere verändern sich die Strömungszustände eines durch die Strömungsmaschine strömenden Fluides. Die Strömungsmaschine und insbesondere die Beschaukelung der Strömungsmaschine ist dabei aber nur für einen Betriebszustand, den sogenannten Auslegungspunkt, optimiert. Als Auslegungspunkt wird in der Regel der Vollaastbetriebspunkt gewählt. Um den Betrieb der Strömungsmaschine auch bei Abweichen des Betriebspunktes von dem optimalen Betriebspunkt zu gewährleisten, ist es somit erforderlich, insbesondere die Beschaukelung der Strömungsmaschine so auszulegen, daß die Strömungsmaschine unter sich stark ändernden und somit vom optimalen Betriebspunkt abweichenden Strömungsbedingungen betrieben werden kann. Dies trifft sowohl auf die Beschaukelung eines Verdichters als auch einer Turbine zu. Diese Problematik tritt insbesondere auch bei sogenannten Fans (als Fan wird in der Regel eine Verdichterstufe mit sehr großen Schaufellängenabmessungen bezeichnet) auf, da sich die Strömung in unterschiedlichen Betriebsbereichen hier bereits innerhalb der einzelnen Schaufelreihe stark ändert. Die Geometrie der Schaufel kann jedoch bisher nur für einen Auslegungspunkt optimiert werden. Derartige Fans werden beispielsweise als vordere Schaufelreihen in mehrstufigen Verdichtern oder auch in Industrieventilatoren eingesetzt. Industrieventilatoren bestehen oftmals aus nur einer Schaufelreihe und finden in einem sehr breiten Leistungsspektrum, das sich von Kleinanlagen bis hinauf in den Leistungsreich über 5 MW und darüber erstreckt, für sehr unterschiedliche Aufgaben und Einsatzzwecke beispielsweise in der Kraftwerkstechnik, der Zementherstellung, der Zellstoff- und Papierherstellung oder auch der Ventilationstechnik ihre Verwendung.

Maßgebliche, die Strömung um eine Schaufel bestimmende Parameter sind hierbei insbesondere die Relativgeschwindigkeit der anströmenden Fluidströmung sowie der Anströmwinkel der die Schaufel anströmenden Fluidströmung. In einer Strömungsmaschine ergeben sich diese die Anströmung bestimmenden Parameter im wesentlichen aus dem Massendurchsatz durch die Strömungsmaschine, der Drehzahl, dem Druck des Fluides und der Temperatur des Fluides.

Darüber hinaus von besonderer Bedeutung ist auch die Umlenkung des Fluides, die sich bei der Umströmung einer Schaufel erzielen läßt. Die Umlenkung ist hierbei die Differenz zwischen dem Abströmwinkel des Fluides an der Schaufelhinterkante einer Schaufel und dem Anströmwinkel des Fluides an der Schaufelvorderkante. Eine geringe Umlenkung der Fluidströmung in den Laufschaufeln führt zu einem geringen Enthalpieumsatz in einem Laufrad (Rotor). Eine zu große Umlenkung des Fluides führt hingegen zu Ablösungen der Strömung auf der Saugseite der Schaufeln, wodurch im Mindesten die Strömungsverluste deutlich ansteigen. Ferner ist es möglich, daß als Folge derartiger

Strömungsablösungen der stabile Betriebsbereich der Strömungsmaschine begrenzt wird.

Um die Beschaukelung an geänderte Strömungsbedingungen anzupassen, werden deshalb seit längerem insbesondere in axialen Strömungsmaschinen Leitschaufeln verwendet, die am Leitrad (Stator) über eine mechanische Verstellrichtung und Gestänge in ihrem Anstellwinkel verstellbar sind. D. h., die gesamte Leitschaufel wird je nach Betriebszustand der Strömungsmaschine an ihrem Fuß um die eigene Achse zwischen einer ersten Stellung und einer zweiten Stellung und auch in Zwischenpositionen gedreht.

Wegen der sehr aufwendigen mechanischen bzw. hydro-mechanischen Stellvorrichtung bleibt diese Anpassungsmöglichkeit zumeist auf die Leitschaufeln und hier in der Regel auf die erste Leitschaufelreihe beschränkt. Die am Laufrad (Rotor) angeordneten Laufschaufeln, die neben den Strömungskräften auch hohen Fliehkräften ausgesetzt sind, sind zumeist nicht verstellbar angeordnet.

Eine weitere Möglichkeit, die Anströmung zu verbessern, besteht in der Verwendung von Profilen mit variabler Geometrie. Auch hier sind beispielsweise aus der US 5 314 301, mechanische Lösungen bekannt, die insbesondere mehrteilige Leitschaufeln betreffen, deren Komponenten über eine komplizierte Gestängeeinrichtung ähnlich wie ein Klappenmechanismus bei einem Flugzeugprofil ausfahrbar sind.

Weiter beschreibt die US 4 235 397 eine mehrteilige Schaufel für eine Strömungsmaschine, die mittels einer eingebauten Blattfeder verstellbar ist. Das Mittelteil der Schaufel besteht dabei aus flexiblem Gummi, der die Blattfeder einschließt.

Die bekannten Lösungen haben den Nachteil, daß sie komplizierte mechanische Ansteuerungen bzw. einen stör-anfälligen und strömungsungünstigen mehrteiligen Aufbau aufweisen. Ferner ist der Einsatz derartiger Schaufeln im Rotor oder Heißgasbereich zumeist nicht möglich.

Darstellung der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Vorrichtung zur Verfügung zu stellen, die eine Anpassung an geänderte Betriebszustände einer Strömungsmaschine und somit geänderte Strömungsparameter des Fluides in einer einfach durchzuführenden Weise und im Wesentlichen ohne komplizierte mechanische Stellmechanismen erlaubt. Insbesondere soll eine Lösung geboten werden, die insbesondere in einem Industrieventilator einfach, kompakt und kostengünstig einsetzbar ist.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

Erfindungsgemäß ist in einer Schaufel integriert zumindest ein Aktuator, vorzugsweise eine Vielzahl von Aktuatoren, angeordnet. Mittels des Aktuators kann die Profilgeometrie der Schaufel in zumindest einem Teilbereich über der Schaufelhöhe elastisch verformt werden. Mit Hilfe einer solchen elastischen Verformung der Schaufel ist es im Falle sich ändernder Strömungsverhältnisse jeweils möglich, die Profilgeometrie der Schaufel den geänderten Strömungsverhältnissen in der Strömungsmaschine anzupassen. Diese Anpassung betrifft insbesondere einerseits den relativen Anströmwinkel sowie die Umlenkung der Strömung beim Überströmen der Schaufel. Infolge der Integration der Aktuatoren in der Schaufel ergibt sich kein zusätzlicher Raumbedarf, so daß sich hierdurch eine sehr kompakte Bauweise der Strömungsmaschine realisieren läßt. Ferner ist es nicht mehr erforderlich, einen aufwendigen Gestängemechanismus oder anderweitige mechanische Übertragungsglieder außerhalb der Schaufel vorzusehen, um eine Verstell-

lung der Schaufel oder eine Veränderung der Schaufelgeometrie zu ermöglichen. Es ist aber auch möglich, die Änderung der Profilgeometrie durch elastische Verformung mittels erfindungsgemäß integriert angeordneter Aktuatoren mit einer herkömmlichen Schaufelverstellung zu kombinieren, und somit einen nochmals deutlich erweiterten Wirkbereich im Vergleich zu einer einfachen Verstellmöglichkeit zu realisieren. Derartige "aktive" Schaufeln ermöglichen eine Anpassung der Profilgeometrie an nahezu alle Betriebszustände, wodurch über einen großen Betriebsbereich ein sehr guter Wirkungsgrad erzielt werden kann. Infolge der Integration der Aktuatoren in der Schaufel ist ein Einsatz solcher Schaufeln nicht nur in Leiträdern sondern insbesondere auch in Laufrädern möglich.

In einer zu bevorzugenden Ausgestaltung der Strömungsmaschine sind in allen Schaufeln eines Leit- oder Laufrades Aktuatoren integriert, so daß demgemäß alle Schaufeln dieses Leit- oder Laufrades in ihrer Profilgeometrie veränderbar sind. Somit kann die Profilgeometrie aller am Umfang des Leit- oder Laufrades angeordneter Schaufeln während des Betriebs der Strömungsmaschine den jeweiligen Strömungsverhältnissen angepaßt werden. Hierdurch läßt sich die Strömung durch die Strömungsmaschine optimieren, wodurch sich deutlich reduzierte Strömungsverluste der Strömung durch die Strömungsmaschine ergeben.

Vorteilhaft ist die Schaufel in voneinander getrennte Teilbereiche unterteilt, wobei die Profilgeometrie der Schaufel in den Teilbereichen getrennt voneinander verformt werden kann. Die Unterteilung der Schaufel erfolgt hierbei zweckmäßig sowohl in Schaufelhöhenrichtung als auch in Schaufellängsrichtung bzw. Profilskelettlinienrichtung. Ebenso kann die Unterteilung der Schaufel aber auch nur in eine Richtung erfolgen. Zweckmäßig können die einzelnen Teilbereiche hierbei getrennt voneinander angesteuert werden, wodurch infolgedessen auch die Profilgeometrie der Schaufel in den einzelnen Teilbereichen getrennt voneinander verformbar ist. So ist es hierdurch beispielsweise möglich, die Profilgeometrie einer Schaufel so zu verformen, daß die Strömung in Bereichen des freien Schaufelkanals (d. h. in Schaufelhöhenrichtung der mittlere Bereich der Schaufel) eine jeweils dem Betriebspunkt angepaßte, stärkere Umlenkung der Strömung erfährt als in den Randbereichen des Schaufelkanals (Naben- und Gehäusebereiche der Schaufel). Als Schaufelkanal wird der Strömungskanal zwischen zwei nebeneinander angeordneten Schaufeln, der in radialer Richtung durch die Naben- und Gehäuseseitenwand begrenzt wird, bezeichnet.

Vorzugsweise sind die Aktuatoren hierbei elektrisch ansteuerbar. Die elektrische Ansteuerung kann somit in einfacher Weise beispielsweise mittels eines Rechnersystems und elektrischen Steuereinrichtungen erfolgen.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, daß in der Schaufel eine oder mehrere Piezoelemente als Aktuatoren zur Änderung der Profilgeometrie aufgenommen sind. Diese werden durch einen elektrischen Strom, der an die Piezoelemente angelegt wird, betätigt. Durch die Längenänderung des Piezoelements auf einer Profilseite läßt sich beispielsweise die Schaufelkrümmung verändern.

Ferner sieht eine vorteilhafte Weiterbildung vor, daß die Schaufel zumindest in einem Teilbereich oder einem Teilelement oder einer Schicht aus Legierungen mit Memoryeffekt (Shape Memory Alloys) zur Änderung der Profilgeometrie hergestellt ist. Dabei läßt sich beispielsweise die Schaufelkrümmung durch Temperaturänderung mittels eines angelegten Stroms ähnlich einem Bimetall verändern. Entsprechende Legierungen und Beschichtungen können bereits bei der Schaufelherstellung eingearbeitet werden. Die Verwendung der Legierungen mit Memoryeffekt kann

beispielsweise in Form von in einer Schaufel eingelegten Zugstreifen oder Drähten erfolgen, die quasi wie ein Muskel die Schaufel biegen können.

In einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung sind zur Änderung der Profilgeometrie der Schaufel in der Schaufel in Profilskelettlinienrichtung Torsionsaktuatoren eingebaut. Infolge des durch die Torsionsaktuatoren auf die Schaufel ausgeübten Torsionsmoments läßt sich die Wölbung des Schaufelprofils verändern. Dabei werden die Torsionsaktuatoren, ähnlich wie Heizdrähte, elektrisch angesteuert.

In einer besonders zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung ist die erfindungsgemäße Schaufel als Fan-Schaukel ausgeführt und bevorzugt in einem Industrieventilator angeordnet. Fan-Schaukeln bieten in der Regel große Platzverhältnisse, so daß die Aktuatoren hier in einfacher Weise integriert werden können. Insbesondere bei Industrieventilatoren, bei denen zweckmäßig alle Schaufeln zumindest einer Schaufelreihe gemäß der Erfindung ausgeführt sind, kann der Wirkungsgrad der Strömungsmaschine insbesondere auch im Teillastbereich hierdurch deutlich verbessert werden. Des Weiteren ergibt sich hieraus auch ein vergrößerter Betriebsbereich der Strömungsmaschine.

In weiteren vorteilhaften Ausbildungen der Erfindung ist es darüber hinaus aber auch möglich, die erfindungsgemäße Schaufel in einem Verdichter sowohl in einem Leitrad als auch in einem Laufrad einzusetzen. Mittels einer solchen Anordnung kann sowohl der Wirkungsgrad der Strömungsmaschine über den gesamten Betriebsbereich verbessert werden als auch der Betriebsbereich der Strömungsmaschine erweitert werden.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß die Schaufel als Turbinenschaukel eingesetzt wird. Hierdurch kann insbesondere die Umlenkung und somit der Enthalpieumsatz dem jeweiligen Betriebspunkt angepaßt werden.

Bevorzugt läßt sich die Profilwölbung insbesondere bei Industrieventilatoren um bis zu 15° und besonders bevorzugt um bis zu 20° verformen. Durch einen derart weiten Wölbungsbereich kann die Anströmung in allen Betriebsbereichen, die außerhalb des Auslegungspunktes liegen, verbessert werden.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß der Profilkörper der Schaufel einteilig ausgebildet ist. Hierdurch ergeben sich keine Übergänge in der Profilkontur, die zu weiteren Strömungsverlusten führen würden.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der erfindungsgemäßen Schaufel sieht vor, daß die Schaufel aus einem elastischen Werkstoff hergestellt ist. Der Werkstoff ist dabei zwar formstabil, läßt aber eine Verformung der Profilgeometrie im gewünschten Bereich zu.

Eine andere vorteilhafte Weiterbildung der erfindungsgemäßen Schaufel sieht vor, daß die Schaufel aus Faserverbundwerkstoff hergestellt ist. Dies ist insbesondere bei Fan-Schaukeln möglich, wo kohlefaser- oder kevlarverstärkte Kunststoffe Verwendung finden können.

Zweckmäßig ist die erfindungsgemäße Schaufel in Sandwichbauweise hergestellt. Dabei können je nach Verwendung der Schaufeln im kalten oder im heißen Fluidstrom die einzelnen Lagen entsprechend ausgelegt und teilweise auch mit Kühlung versorgt werden.

Bevorzugt läßt sich die Schaufel in den einzelnen Verformungszuständen mittels einer Arretiervorrichtung arretieren. Dies kann hierbei beispielsweise mittels eines oder zweier verstellbarer Zapfen erfolgen, die bevorzugt an den Schaufelenden in die Schaufel eingreifen und diese in verformter Stellung arretieren. Ebenso kann dies aber auch mit-

tels eines verstellbaren Spannfutters, das ebenso bevorzugt an den Schaufelenden angeordnet ist und ähnlich dem Spannfutter einer Drehbank stufenlos an die Biegelinie der Schaufel anpassbar ist, erfolgen. Mittels einer solchen Arretiervorrichtung kann die Schaufel in einem verformten Zustand arretiert werden, so daß die Aktuatoren im Weiteren nicht aktiviert bleiben müssen, um die Verformung der Schaufel zu erhalten.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Ansicht einer erfindungsgemäßen Ausführungsform einer axialen Strömungsmaschine von vorne;

Fig. 2 eine Draufsicht auf eine schematisch dargestellte Leitschaufel gemäß der Ausführungsform in **Fig. 1** in zwei Stellungen;

Fig. 3 eine schematische Ansicht einer bekannten Ausführungsform einer axialen Strömungsmaschine;

Fig. 4 eine Draufsicht auf eine schematisch dargestellte Leitschaufel gemäß der Ausführungsform in **Fig. 3**;

Fig. 5 ein Diagramm, in dem der effektive Krümmungswinkel und die Nasenkrümmung über der Stromstärke aufgetragen sind;

Fig. 6 ein Diagramm, in dem die Wirkungsgrade eines herkömmlichen Fans und eines erfindungsgemäßen Fans über dem Massenstrom aufgetragen sind.

Es sind nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente gezeigt. Gleiche Teile sind mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet.

Wege zur Ausführung der Erfindung

Fig. 1 zeigt eine schematische Ansicht einer erfindungsgemäßen Ausführungsform einer axialen Strömungsmaschine 1 von vorne.

Dargestellt ist eine gehäuseseitige Seitenwand 8 sowie eine nabenseitige Seitenwand 5, die einen im Querschnitt lochkreisförmigen Strömungskanal 4 einschließen. Im Strömungskanal 4 sind in Umfangsrichtung sternförmig nebeneinander Leitschaufeln 3 angeordnet. Die Leitschaufeln sind hierbei sowohl an der gehäuseseitigen Seitenwand 8 als auch an der nabenseitigen Seitenwand 5 befestigt. In der schematisierten Darstellung erfolgt die Befestigung der Leitschaufeln mit den Seitenwänden jeweils an den Mittelachsen 2. Zudem können die Leitschaufeln in herkömmlicher Weise in einem gewissen Winkelbereich um die Mittelachsen 2 verdreht werden. Diese herkömmliche Verstellung wird hierbei beispielsweise mittels kleiner Elektromotoren realisiert, die aber in **Fig. 1** nicht dargestellt sind.

In den in **Fig. 1** dargestellten Leitschaufeln 3 sind erfindungsgemäß Aktuatoren integriert, die eine elastische Verformung der Schaufeln und somit eine Veränderung der Profilgeometrien der Schaufeln bewirken. Diese Aktuatoren werden beispielsweise aus einer oder mehreren geschichteten Lagen oder aus Drähten gebildet, die jeweils aus Legierungen mit Memoryeffekt (Shape Memory Alloys) bestehen und die auf der Druck- und der Saugseite der Schaufel appliziert sind. Im Falle einer Erwärmung nur einer Seite der Schaufel, durch beispielsweise einen Stromfluß durch die Lagen oder den Draht, und einer Abkühlung der anderen Seite der Schaufel kommt es zu einer Verformung der Schaufel entsprechend dem Formgedächtnis der Legierung auf der erwärmten Seite der Schaufel. Die Verformung kann durch eine Erwärmung der zweiten Seite bei gleichzeitiger

Abkühlung der ersten Seite wieder rückgängig gemacht werden. Eine solche elastische Verformung ist in **Fig. 2** dargestellt und wird im Detail unten beschrieben. Alternativ zu dem direkten Erwärmen der Lagen oder des Drahtes mittels eines Stromflusses können auch Heizfolien auf den Oberseiten der Schaufel oder auch als Zwischentage in der Schaufel appliziert sein.

Weiterhin ist in **Fig. 1** eine Steuerung 6 dargestellt, die über Steuerleitungen 7 mit den Leitschaufeln 3 verbunden ist. Bei der dargestellten Steuerung handelt es sich um eine elektrische Steuerung, beispielsweise eine Prozessorsteuerung. Die Steuerleitungen sind demgemäß als elektrische Signalleitungen ausgeführt. Mittels dieser Steuerung wird einerseits sowohl die Drehverstellung der Leitschaufeln geregelt als auch andererseits die in den Schaufeln integriert angeordneten Aktuatoren aktiviert.

Fig. 2 zeigt eine Draufsicht auf eine schematisch dargestellte Leitschaufel gemäß der Ausführungsform aus **Fig. 1** in zwei Stellungen, nämlich in einer ersten Stellung 20 und einer zweiten Stellung 21. Es sind in Abhängigkeit der eingesetzten Aktuatoren auch Zwischenstellungen und kleinere Änderungen der Profilkrümmung möglich, die hier nicht wiedergegeben sind.

Die Verstellung der Leitschaufel von der ersten Stellung 20 in die zweite Stellung 21 kann hier gemäß **Fig. 2** einerseits mittels einer mechanischen Drehung der Leitschaufel um die Schaufelachse 2 und zusätzlich einer Krümmung zusammengesetzt werden. Diese Krümmung der Schaufel im Hinterkantenbereich sowie im Nasenbereich der Schaufel ist hierbei das Ergebnis der erfindungsgemäßen elastischen Verformung der Schaufel mittels in der Schaufel integrierter Aktuatoren. In der ersten Stellung 20 ist die Schaufel im Hinterkantenbereich gekrümmt. In der zweiten Stellung 21 ist die Schaufel im Nasen- und Hinterkantenbereich gekrümmt. Mittels Strichlinie ist in **Fig. 2** die neutrale Linie 23 gekennzeichnet. Alternativ zu einer Kombination aus einer mechanischen Verdrehung der Schaufel und zusätzlich einer erfindungsgemäßen elastischen Verformung im Nasen- und Hinterkantenbereich kann die in **Fig. 2** dargestellte Verstellung der Leitschaufel auch allein auf einer erfindungsgemäßen elastischen Verformung der Schaufel beruhen. Hierzu wäre es in dem dargestellten Fall dann erforderlich, die Aktuatoren in einzelnen Bereichen der Schaufel getrennt voneinander ansteuern zu können.

Die **Fig. 3** und **4** zeigen eine schematische Ansicht einer bekannten Ausführungsform einer axialen Strömungsmaschine und eine Draufsicht auf eine schematisch dargestellte Leitschaufel 3 gemäß der Ausführungsform in **Fig. 3**, wie sie bereits in der Beschreibung zum Stand der Technik erläutert wurden. Die Leitschaufeln 3 können mittels mechanischen Verstelleinheiten 30, die über das Gestänge 31 angetrieben werden, verdreht werden. In **Fig. 4** sind die zwei Extrempositionen (20,21) der Verdrehung einer Leitschaufel 3 dargestellt.

Fig. 5 zeigt ein Diagramm, in dem der effektive Krümmungswinkel KW und die Nasenkrümmung über der Stromstärke einer Schaufel aufgetragen sind. Die dargestellten Kurven sind dabei aus Versuchen ermittelte Meßergebnisse. Dabei wurde für eine Kunststoffplatte, die mittels an der Kunststoffplatte angeordneter Drähte, die aus Formgedächtnis-Legierungen bestanden, elastisch verformt werden konnte, ein maximaler Krümmungswinkel KW von etwa 16° bei einer Stromstärke von 1,5 A erreicht. Die Nasenkrümmung der an der Hinterkante eingespannten Kunststoffplatte betrug 60 mm.

Fig. 6 zeigt ein Diagramm, in dem der Wirkungsgrad von Fan-Stufen über dem Massenstrom aufgetragen ist. Bei dem hier dargestellten Verlauf des Wirkungsgrades handelt es

sich jedoch nicht um einen meßtechnisch ermittelten Verlauf, sondern vielmehr um eine Vorabschätzung. Die in dem Diagramm gestrichelt gezeichnete und mit K bezeichnete Kurve kennzeichnet hierbei den Wirkungsgrad einer konventionellen Fan-Stufe, d. h. ohne veränderbare Profilgeometrie. Die durchgezogene Kurve hingegen stellt den Wirkungsgradverlauf einer erfindungsgemäßen Fan-Stufe dar und ist mit E gekennzeichnet. Während die Kurve K für die konventionelle Fan-Stufe einen parabelförmigen Verlauf aufweist, bei dem der maximale Wirkungsgrad im Auslegungspunkt erreicht wird, weist die Kurve E für die erfindungsgemäße Fan-Stufe einen Verlauf auf, bei dem ein optimaler Wirkungsgrad nahezu über den gesamten Betriebsbereich gegeben ist.

Bezugszeichenliste

- 1 Strömungsmaschine
- 2 Mittelachse einer Leitschaufel
- 3 Leitschaufel
- 4 Strömungskanal
- 5 nabenseitige Seitenwand
- 6 Steuerung
- 7 Steuerleitung
- 8 gehäuseseitige Seitenwand
- 20 erste Stellung der Leitschaufel
- 21 zweite Stellung der Leitschaufel
- 23 Mittelachse der Strömungsmaschine
- 30 mechanische Verstelleinheit
- 31 Gestänge
- KW effektiver Krümmungswinkel
- NK Nasenkrümmung
- E erfindungsgemäßer Fan
- K konventioneller Fan

Patentansprüche

1. Schaufel mit veränderbarer Profilgeometrie zum Einsatz in einer Strömungsmaschine, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schaufel zur Anpassung an unterschiedliche Strömungszustände in zumindest einem Teilbereich über der Schaufelhöhe eine durch elastische Verformung der Schaufel veränderbare Profilgeometrie aufweist, wobei die elastische Verformung der Schaufel mit Hilfe zumindest eines Aktuators erfolgt und der Aktuator in der Schaufel integriert angeordnet ist.
2. Schaufel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilgeometrie einzelner Teilbereiche getrennt voneinander veränderbar ist.
3. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in der Schaufel Piezoelemente als Aktuatoren angeordnet sind.
4. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaufel in zumindest einem Teilbereich oder einem Teilelement oder einer Schicht aus einer Legierung mit Memoryeffekt (Shape Memory Alloy) hergestellt ist, wobei die Legierung mit Memoryeffekt als Aktuator wirkt.
5. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb der Schaufel in Profilskelettlinienrichtung zumindest ein Torsionsaktuator angeordnet ist.
6. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb der Schaufel in Schaufelhöhenrichtung zumindest ein Torsionsaktuator zur Veränderung der Schaufelverwindung angeordnet ist.

7. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Profilkörper der Schaufel einteilig aufgebaut ist.

8. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaufel aus einem elastischen Werkstoff hergestellt ist.

9. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaufel in zumindest einem Teilbereich aus Faserverbundwerkstoff hergestellt ist.

10. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaufel in Sandwichbauweise hergestellt ist.

11. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bevorzugt an zumindest einem Ende der Schaufel eine Arretiervorrichtung zur Arretierung der verformten Schaufel angeordnet ist.

12. Schaufel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaufel in einem Fan der Strömungsmaschine eingesetzt wird, wobei die Strömungsmaschine vorzugsweise ein Industrieventilator ist.

13. Industrieventilator, mit zumindest einem Fan dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine Schaufel des Fan, bevorzugt alle Schaufeln des Fan, eine veränderbare Profilgeometrie gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11 aufweist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

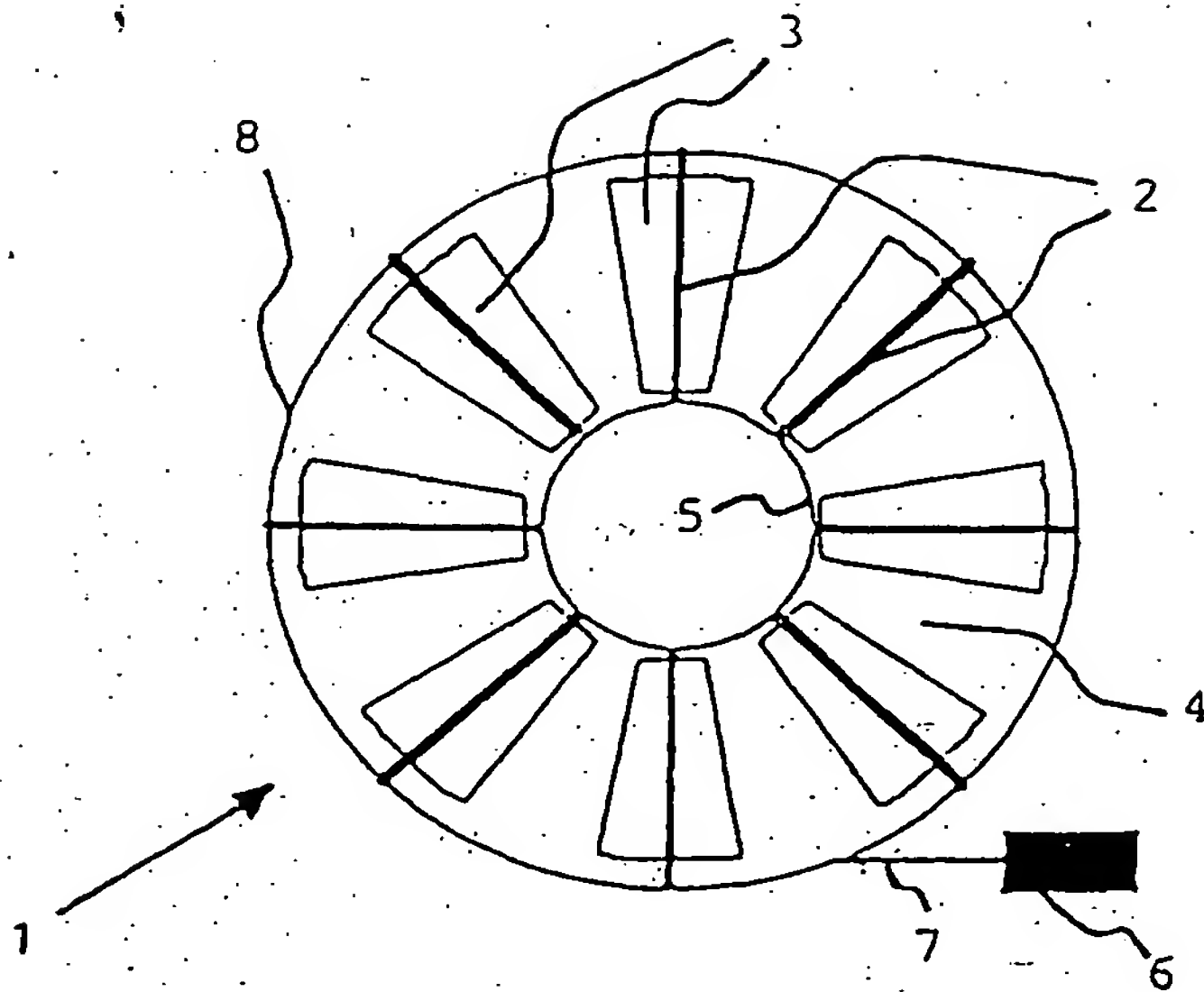


Fig. 1

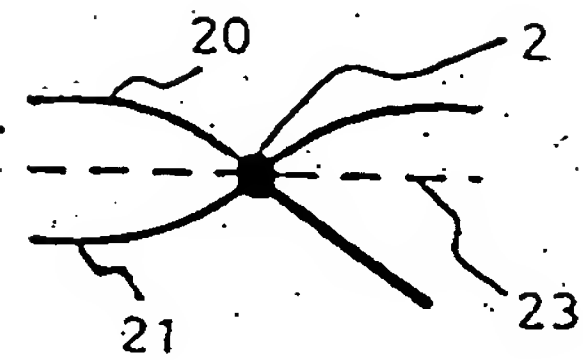


Fig. 2

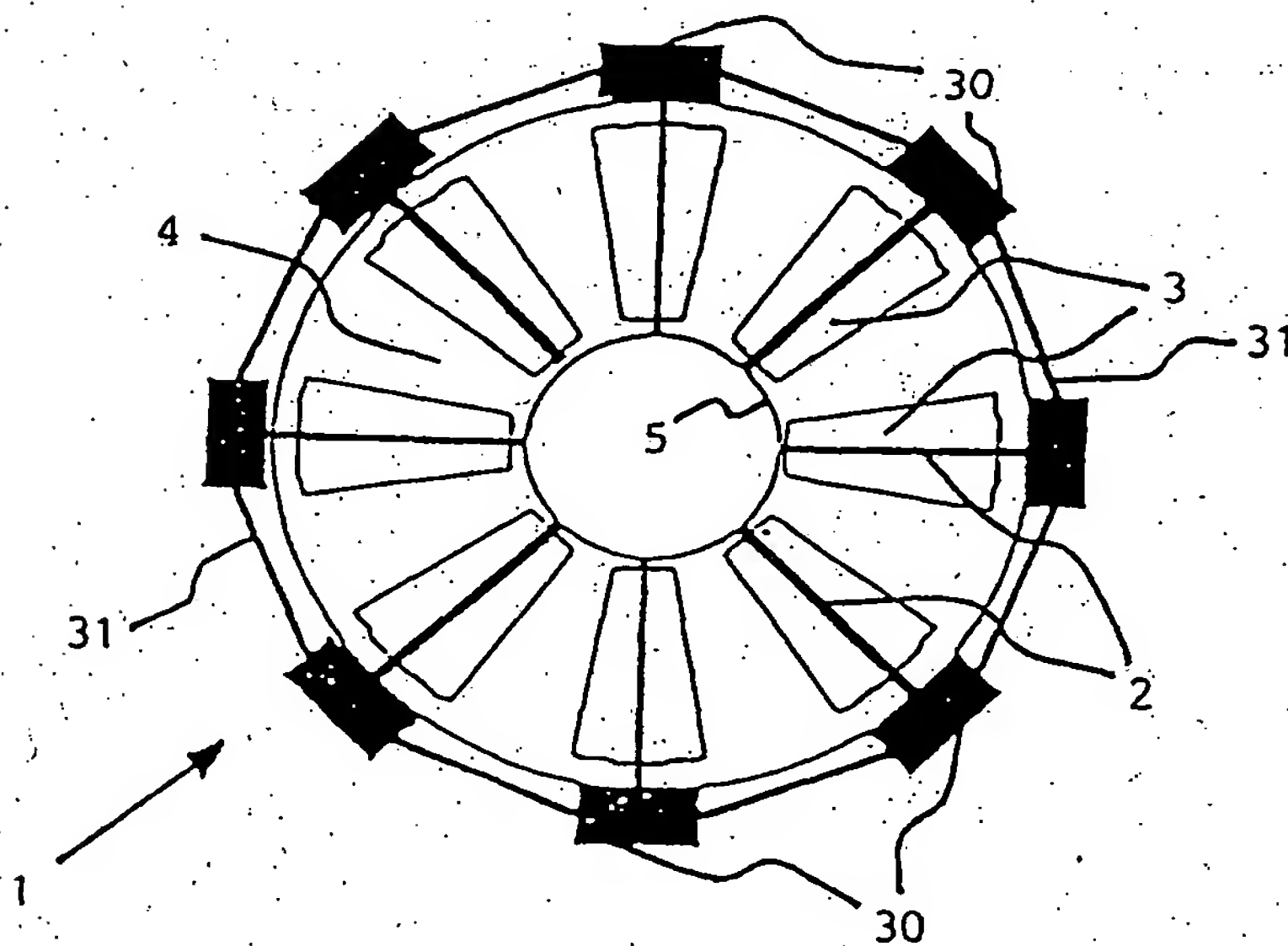


Fig. 3

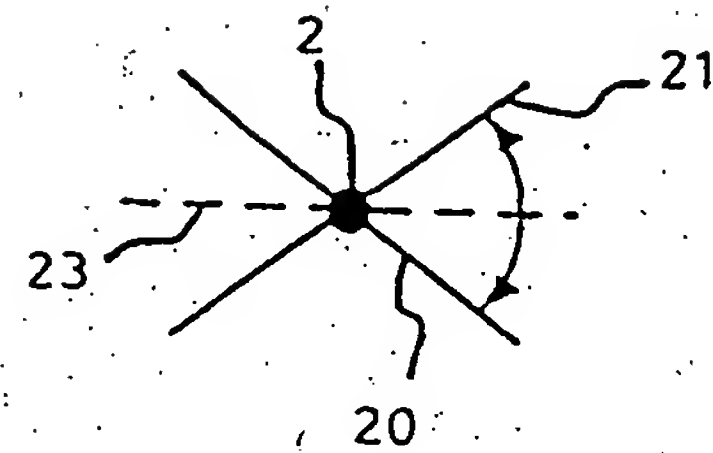


Fig. 4

3

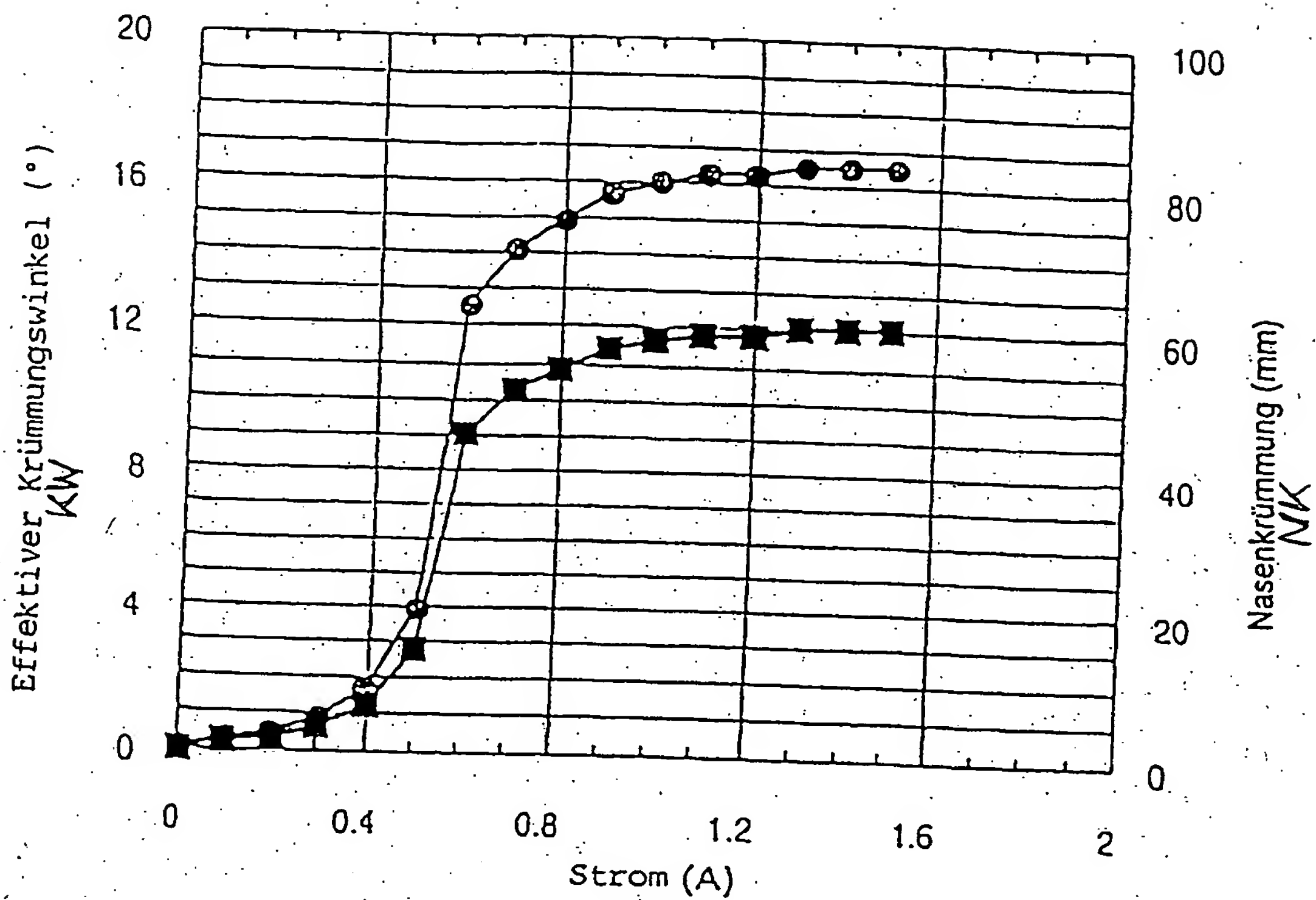


Fig. 5

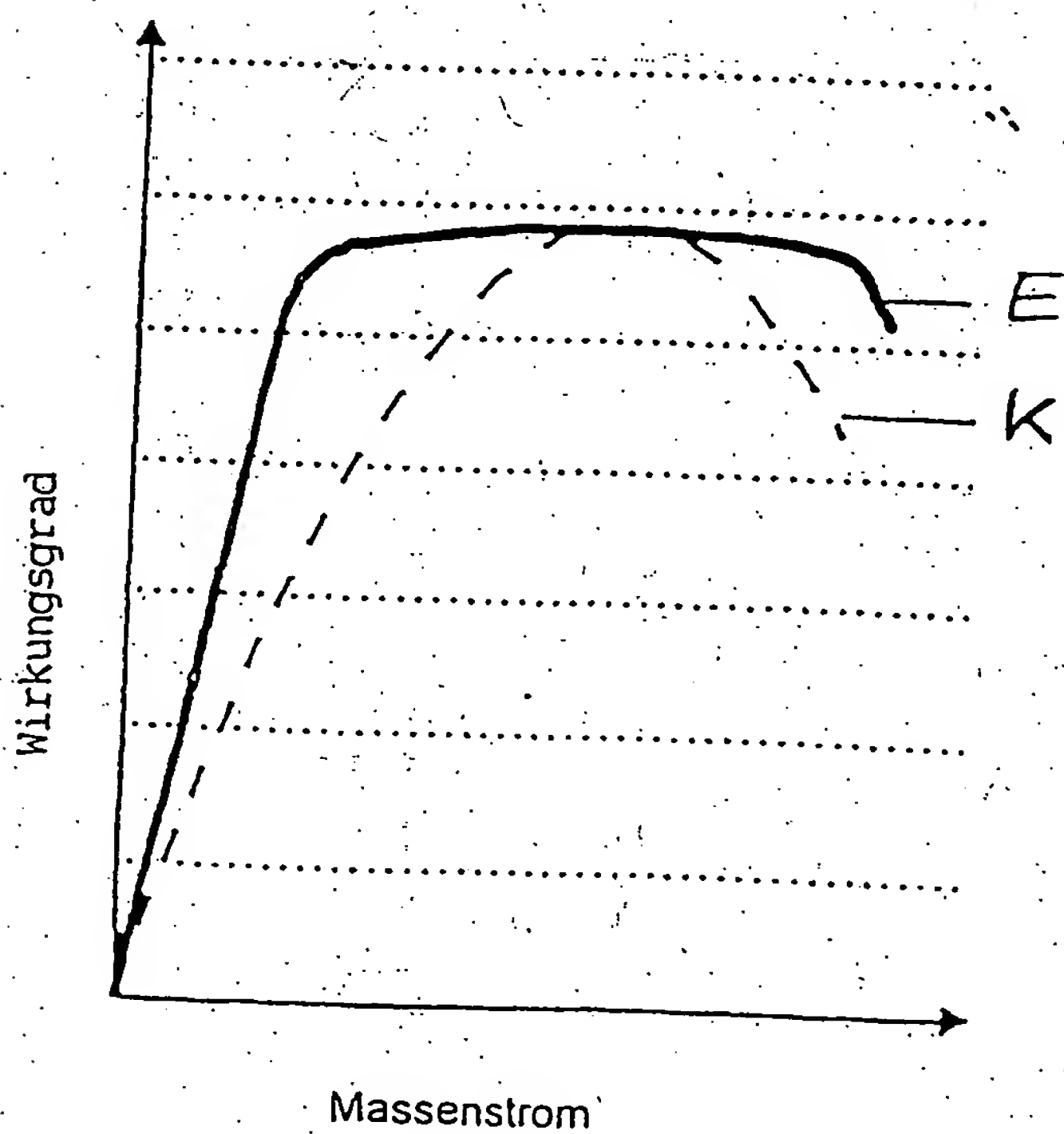


Fig. 6